



УДК 621.371

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.131.134

СТЕНД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДАРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

SAR SIMULATION BENCH

ПЕРЕВЕРЗЕВ АЛЕКСЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ

PEREVERZEV ALEXEY L.

БИРЮК АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

BIRYUK ALEXEY A.

blryuk@yandex.ru

blryuk@yandex.ru

ОРЕШКИН ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ

ORESHKIN VITALIY I.

КУЗЬМИН ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

KUZMIN ILYA A.

ЛЯЛИН КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ

LYALIN KONSTANTIN S.

ДОВГАЛЬ ТИМОФЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

DOVGAL TIMOFEY A.

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

National Research University of Electronic Technology
1 Shokin Square, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia

Для проведения исследований влияния состояния влажности почвы и растительности на параметры рассеяния радиолокационного сигнала в разных частотных диапазонах и поляризациях разработаны программы управления стендом имитационного моделирования излучения и приема ФКМ-сигнала на базе шасси PXIe-1085 и трансивера PXIe-5840.

Ключевые слова: PCA; PXIe; LabView.

The paper highlights control programs for the stand simulation of the radiation and reception of a PCM signal based on the PXIe-1085 chassis and the PXIe-5840 transceiver that have been developed to study the influence of soil moisture and vegetation on the radar signal scattering in different frequency ranges and polarizations.

Keywords: SAR; PXIe; LabView.

В [1] описан облик и принцип работы системы контроля состояния параметров вегетации и подстилающей почвы с помощью активного радиолокатора. Методы, с помощью которых такая система выполняет свое функциональное предназначение, подразумевают использование нескольких диапазонов частот радиосигнала. В каждом диапазоне полученное радиолокационное изображение будет отражать соответствующую информацию: Ku-, X- и C-диапазоны отображают плотность и вид растительности, L — увлажненность и структуру почвы. Совместно с многодиапазонностью для применения методов радиолокационно-вегетационной индексации необходим поляриметрический режим съемки с получением изображения в нескольких составляющих поляризационной матрицы рассеяния. Полученные и обработанные с применением подобных индексов данные, учитывая поправки на условия получения изображения, позволяют сделать вывод о виде растительности, состоянии и плотности вегетации, увлажненности и типе почвы и построить сложную многомерную и информационно-емкую картину заданной местности [1].

Оценка влияния состояния влажности почвы и вегетации на параметры рассеяния радиолокационного сигнала в разных частотных диапазонах и поляризациях требует проведения комплексных исследований, охватывающих большое число измеряемых величин. Формирование финального облика и технических характеристик устройства возможно только после проведения подробной оценки влияния данных величин на достижение заданной точности определения состояния вегетации и влажности почвы.

Для проведения испытаний в максимально широком диапазоне характеристик при минимальных временных затратах

на разработку устройства и программного обеспечения было принято решение использовать программно-аппаратный комплекс на базе модульного оборудования. Наиболее подходящим было признано оборудование National Instruments в форм-факторе PXI ввиду широкого выбора высокочастотных модулей и наличия готовых библиотек взаимодействия с данными модулями. Был разработан стенд имитационного моделирования (СИМ) на базе двух приемопередающих модулей VST-5840 на шасси PXIe-1085.

При выборе оборудования для СИМ важными параметрами являлись полоса приемопередатчика и максимальная частота. Стенд предназначен для натурных испытаний и установлен в мобильном контейнере. Внешний вид СИМ представлен на рис. 1.

Требования к высокому разрешению получаемого радиолокационного изображения приводят к высокой частоте повторения импульсов (ЧПИ). Для достижения необходимых значений ЧПИ в условиях применения универсального измерительного оборудования в составе СИМ модуль передатчика постоянно включен, а коммутация осуществляется наличием или отсутствием информационного сигнала.

Съемка в нескольких сочетаниях кросс-поляризации, необходимая для получения индексов, характеризующих вегетацию, требует наличия сложной коммутации антенно-фидерного тракта либо множества приемопередающих модулей. В сочетании с требованиями к ЧПИ данные ограничения привели к решению использовать два приемопередающих устройства, подключенных к антеннам с разной поляризацией. Данные устройства имеют высокую степень временной синхронизации. Передающие устройства работают попеременно, облучая один и тот же целевой сюжет,



Рис. 1. Внешний вид аппаратно-программного комплекса СИМ

приемные устройства работают одновременно, что позволяет вести одновременную съемку в четырех сочетаниях поляризаций.

Испытания состоят из двух этапов. Первый этап состоит из наземных экспериментов. Второй этап будет проводиться на пилотируемом летательном аппарате. В данной работе приведены результаты начальных испытаний первого этапа, однако необходимость съемки с летательного аппарата формирует требования к системе. Скорость летательного аппарата в сочетании с относительно низкой высотой полета накладывает ограничения на минимальную частоту посылы импульсов. Для одновременной съемки в различных сочетаниях поляризации с требуемой ЧПИ используются два приемопередающих модуля VST-5840. Приемный и передающие антенны модулей обладают различными поляризациями: таким образом достигается полнота информации о поляризационных характеристиках коэффициента рассеяния исследуемой поверхности. Формирование индексов вегетации требует когерентности данных, что приводит к необходимости синхронизации модулей. Оборудование NI и программное обеспечение LabVIEW позволяют осуществлять синхронизацию нескольких устройств в составе шасси. Частота дискретизации приемных модулей может составлять 1,25 ГГц, что дает широкие возможности по исследованию сигналов с различной полосой до 500 МГц. Учитывая большую полосу сигнала, результирующий высокоскоростной поток данных, получаемый в ходе съемки, требует высокой скорости записи. Для этого в системе предусмотрен быстрый твердотельный накопитель в составе RAID 0.

Для обеспечения автономности полевого испытательного комплекса СИМ работает от автономного источника питания, что приводит к требованию по автоматизации процесса съемки и записи. СИМ имеет возможность переключения параметров программы управления съемкой согласно сохраненному файлу параметров для быстрой смены условий эксперимента.

Для реализации условия эксперимента было разработано программное обеспечение управления оборудованием:

- синтеза применяемых последовательностей;
- загрузки конфигурации в соответствии с требованиями эксперимента;
- формирования комплексных огибающих излучаемых сигналов в соответствии с требованием одновременного получения сигналов разных поляризаций;
- конфигурации передающего модуля;
- конфигурации приемного модуля;
- синхронизации нескольких приемопередающих устройств;
- сохранения высокоскоростного потока данных;
- программы синтеза радиолокационного изображения.

Программное обеспечение СИМ предусматривает получение радиолокационных изображений с применением различных сигналов сложной внутриимпульсной модуляции. Кроме того, для будущих полетных испытаний реализован метод циклического сдвига бинарной псевдослучимой последовательности для уменьшения уровня боковых лепестков автокорреляционной функции сигнала.

Первый этап испытаний состоит из наземных испытаний. Для удовлетворения требований к отношению сигнал/шум использовались длинные псевдослучимые последовательности. Для преодоления ограничений, накладываемых работой на малых дистанциях по сравнению с длительностью сигнала, используются модифицированные последовательности, обладающие низким уровнем боковых лепестков автокорреляционной функции вблизи максимума.

Эксперимент проводился в трех частотных диапазонах. Исползованные антенны представлены на рис. 2. Установленные в единую конструкцию антенны представляют собой набор одиночных излучателей, обладающих разными линейными поляризациями. Часть использованных антенн представляют собой массив излучателей, однако у решетки отсутствует схема суммирования и каждый элементарный излучатель имеет собственный разъем. Установка излучателей осуществлялась таким образом, чтобы обеспечить все возможные сочетания поляризаций приема и передачи.

Антенны были установлены на высоте от 2,2 до 2,5 метра. На рисунке можно видеть оснастку для установки антенных сборок. Выходная мощность передатчика составляла 100 мВт, суммарные потери в кабелях равнялись 14 дБ. Общая протяженность съемки — 3,26 метра, шаг съемки составлял 2 см.

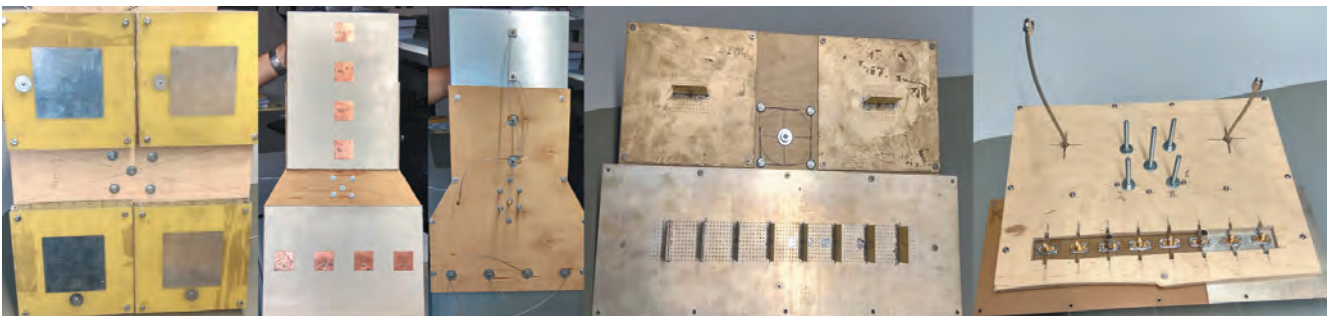


Рис. 2. Фотографии антенн, использованных в эксперименте



Рис. 3. Фотография оснастки для подвеса антенн во время съемки



Рис. 4. Фотография исследуемой площадки

Исследуемая площадка представлена на рис. 4. Травяное покрытие на половине исследуемого участка скошено. Перед травяным покрытием находится бетонная дорога, расстояние до границы дороги от антенн составляет 6,9 метра. Приблизительно через 2,5–3 м от края дороги начинается овраг с длинной травой. На расстоянии приблизительно 23 метра от точки крепления антенн начинается лесополоса.

Измерения проводились с использованием ансамбля различных сигналов: троичной последовательности, последовательности Лежандра, а также ЛЧМ-сигнала. Последовательности были модифицированы для обеспечения сверхнизкого уровня боковых лепестков вокруг максимума автокорреляционной функции [2]. Длина последовательностей составляла 10303 символа. Для обеспечения энергетичности принимаемого сигнала в дополнение к согласованной фильтрации сложного сигнала использовалось накопление импульсов. Количество накоплений в рамках подготовки к эксперименту находилось в диапазоне до 100 тыс. накоплений. Однако ввиду ограничения скорости записи внутреннего хранилища СИМ и объема буфера памяти приемника большое количество усреднений приводило к значительному увеличению длительности одной съемки. В результате оптимизации времени съемки в рамках эксперимента по критерию отношения сигнал/шум после согласованной фильтрации количество усреднений было принято равным 150.

Из полученных данных были синтезированы радиолокационные изображения (РЛИ). Далее в статье представлены только результаты для сигналов, полученных с использованием троичной последовательности. На рис. 5 представлено РЛИ, полученное в L-диапазоне. Центральная частота составляла 1,2 ГГц, полоса равнялась 500 МГц, длительность сигнала равнялась приблизительно 43 мкс, что в классической импульсной локации соответствует мертвой зоне размером более 6 км.

Представлены четыре сочетания поляризации передающей и приемной антенн. Анализируя полученное РЛИ, можно

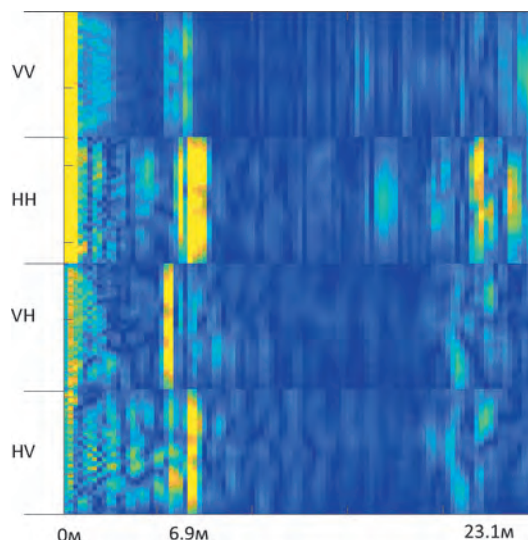


Рис. 5. РЛИ, полученные в L-диапазоне

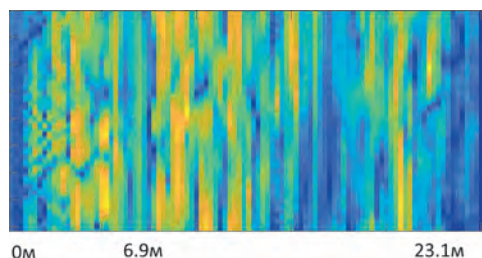


Рис. 6. Карта RVI, полученная в L-диапазоне

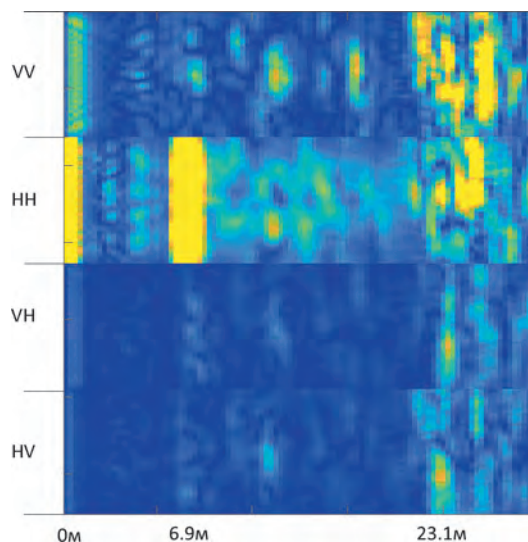


Рис. 7. РЛИ, полученные в S-диапазоне

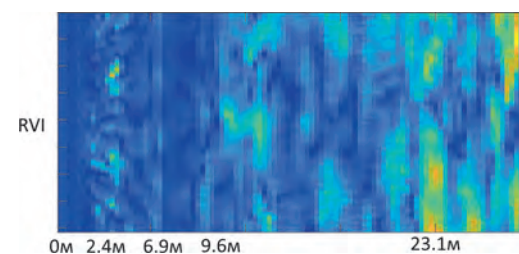


Рис. 8. Карта RVI, полученная в S-диапазоне

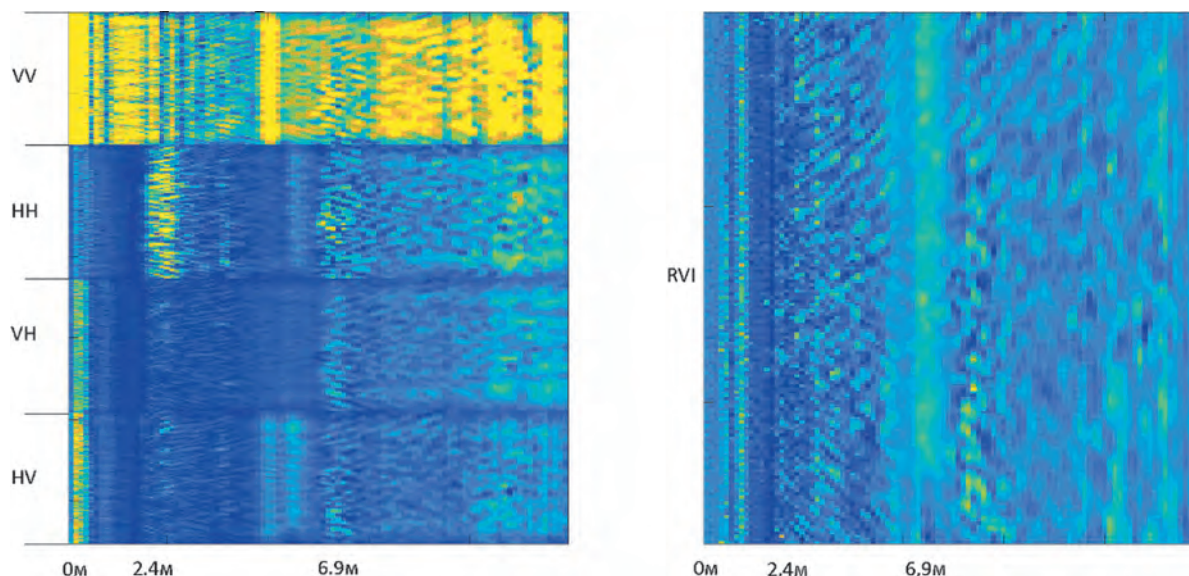


Рис. 9. РЛИ и карта RVI, полученные в С-диапазоне

однозначно выделить границу дороги и обочины и начало лесополосы. В области, соответствующей малым расстояниям, видны искажения в виде регулярных паттернов. Возможной причиной данных неоднородностей является высокий уровень электромагнитной связи между приемной и передающей антеннами. По данным РЛИ была построена карта RVI, представленная на рис. 6.

Полученное изображение обладает искажениями, вызванными неоднородностями в РЛИ, в соответствующей малым расстояниям зоне. Малое изменение RVI от расстояния не позволяет сделать однозначных выводов, но возможно данный характер зависимости вызван большой длиной волны в сравнении с элементами окружения.

Полученные РЛИ, снятые в S-диапазоне, представлены на рис. 7. Центральная частота равнялась 2,4 ГГц. Остальные параметры остались неизменными: полоса равнялась 500 МГц, длительность сигнала — приблизительно 43 мкс.

На данных изображениях хорошо различимы граница дороги и обочины и граница лесополосы. На РЛИ, соответствующих принятым в кополяризации сигналам, заметны искажения, схожие с искажениями в L-диапазоне. По полученным изображениям была построена карта RVI, она представлена на рис. 8.

Анализируя изображение, можно однозначно провести разделение на несколько зон: дорога, придорожный участок с короткой травой, овраг с длинной травой и лесополоса. Высокие значения RVI на малых дистанциях предположительно вызваны искажениями, видимыми на РЛИ.

Полученные РЛИ и карта RVI в С-диапазоне представлены на рис. 9. Центральная частота равнялась 5 ГГц, полоса равнялась 1000 МГц, длительность сигнала равнялась приблизительно 22 мкс, что соответствует мертвой зоне размером более 3 км.

Как можно видеть, в данном диапазоне электромагнитная связь антенн в вертикальной кополяризации очень высока, из-за чего полученные РЛИ обладают множеством искажений. Анализируя РЛИ, можно обозначить линию земли и границу дороги с обочиной.

В данной статье авторами описываются особенности работы разработанного имитационного стенда программно-аппаратного комплекса для съемки поляриметрического РЛИ в различных

радиочастотных диапазонах в целях исследования и оценки влияния параметров влажности почвы и вегетации на коэффициент рассеяния поверхности. Показана возможность проведения радиолокационной съемки на малых расстояниях и малых мощностях и последующего синтеза. Приведены результаты съемки в нескольких частотных диапазонах. В L- и С-диапазоне электромагнитная связь между использованными передающей и приемной антеннами вносит большие искажения в получаемые РЛИ, что усложняет их анализ. В S-диапазоне полученные изображения и карта RVI обладают явно выраженными изменениями в зависимости от типа подстилающей поверхности. Делать однозначные выводы о характере данной зависимости на данном этапе преждевременно ввиду недостаточности количества экспериментов, однако наличие данной зависимости говорит о возможной перспективности RVI для характеристики состояния вегетации. Дальнейшая работа будет посвящена доработке конфигурации антенн в целях уменьшения взаимного влияния (для получения однозначных результатов во всех доступных диапазонах), накоплению результатов для увеличения статистики экспериментов и анализу изображений, в том числе с изменением и контролем влажности снимаемого объекта, а также подготовке к летным натурным испытаниям.

Данная работа проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения № 14.578.21.0248 о предоставлении субсидии, идентификационный номер соглашения RFMEFI57817X0248.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lyalin K. S., Biryuk A. A., Sheremet A. Y., Tsvetkov V. K. and Prikhodko D. V. *UAV synthetic aperture radar system for control of vegetation and soil moisture* // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Moscow, 2018. P. 1673–1675.
2. Kuzmin I. A., Dovgal T. A., Maksimovskaya A. I., Oreshkin V. I. and Bochkov A. A. *Synthesis of sequences for short range pulse radar* // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Moscow, 2018. P. 1667–1669.